

(19)日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-70490

(13)公開日 平成11年(1999)3月16日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>B 25 J 19/06  
G 05 B 19/18  
G 05 D 3/00

識別記号

F I

B 25 J 19/06  
G 05 D 3/00  
G 05 B 19/18

X

審査請求 未請求 請求項の数2 FD (全8頁)

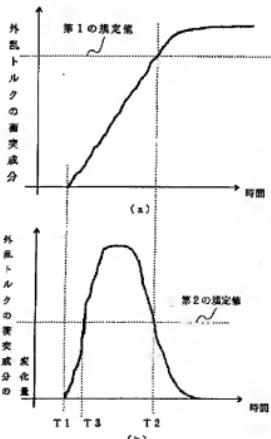
(21)出願番号	特願平10-61985	(71)出願人	000005197 株式会社不二越 富山県富山市不二越本町一丁目1番1号
(22)出願日	平成10年(1998)2月27日	(72)発明者	細井 一 富山県富山市不二越本町一丁目1番1号 株式会社不二越内
(31)優先権主張番号	特願平9-187225	(72)発明者	浜田 博文 富山県富山市不二越本町一丁目1番1号 株式会社不二越内
(32)優先日	平9(1997)6月30日	(72)発明者	大野 耕治 富山県富山市不二越本町一丁目1番1号 株式会社不二越内
(33)優先権主張国	日本 (JP)	(74)代理人	弁理士 河内 潤二

(54)【発明の名称】 産業用ロボットの衝突検出方法

(57)【要約】

【課題】 アーム自身あるいはこれに把持されたエンドエフェクタが障害物に衝突した際の、衝突が発生してから衝突を検出するまでのタイムラグを少なくし、その結果アームや減速機を含む駆動系にかかる衝突時の負荷を最小限に抑えることが可能な産業用ロボットの衝突検出方法を提供する。

【解決手段】 関節部を駆動する駆動軸モータが減速機を介してアームと連結される構造を有する産業用ロボットにおいて、オブザーバを用いることにより駆動軸モータが受ける推定外乱トルクを算出し、この推定外乱トルクから既知の外乱トルクを差し引くことにより外乱トルクの衝突成分を算出し、この外乱トルクの衝突成分が予め設定された第1の規定値を超えたとき、または外乱トルクの衝突成分の変化量が予め設定された第2の規定値を超えたときのいずれかの場合に衝突を検出したと判断するようにした。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】関節部を駆動する駆動軸モータが減速機を介してアームと連結される構造を有する産業用ロボットにおいて、

オブザーバーを用いることにより前記駆動軸モータが受けた推定外乱トルクを算出し、

該推定外乱トルクから既知の外乱トルクを差し引くことにより外乱トルクの衝突成分を算出し、

該外乱トルクの衝突成分が予め設定された第1の規定値を超えたとき、または外乱トルクの衝突成分の変化量が予め設定された第2の規定値を超えたときのいずれかの場合に衝突の発生を検出したものと判断するようにしたことを特徴とする産業用ロボットの衝突検出方法。

【請求項2】前記第1の規定値は、前記産業用ロボットを衝突の発生がない状態で動作させ、このときの前記外乱トルクの衝突成分の最大値を算出し、該最大値に所定のマージン値を乗することにより自動的に設定するようにしたことを特徴とする請求項1に記載の産業用ロボットの衝突検出方法。

【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】産業用ロボットを構成するアームあるいはエンドエフェクタが障害物などと衝突した場合に、衝突時の負荷を最小限に抑えることが可能な産業用ロボットの衝突検出方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】産業用ロボットを構成するアーム自身あるいはこれに把持されたエンドエフェクタが障害物に衝突した場合、各アームを駆動する駆動軸モータは予め設定された移動指令に従ってなおも回転し続けようとして、この結果駆動軸モータは拘束状態となり、大きなトルクを発生し続けることになる。この状態が長く続くと駆動軸モータや減速機を含むアームの機構部が破損する可能性が生ずるので、従来より、何らかの手法により衝突の発生を検出し、駆動軸モータの移動指令を即時に中断する等の処置を行っていた。

【0003】例えば、特開平6-131050号に開示されている方法では、外乱推定オブザーバーによって摩擦トルクを考慮した外乱トルクを推定し、この推定外乱トルクが規定値以上になったとき、負荷異常として衝突等が生じているものと判断するようになっていた。この方法は、力センサなどの衝突検出用の特別な検出器を使用することなく、ソフトウェア上の処理により衝突の発生を検出し、駆動軸モータへの動力供給を遮断し、これによりアームを即座に緊急停止させることができるというものである。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかし、ソフトウェア上の処理においては、実際に衝突が発生してからソフトウェア上でこれを検出するまでにはある程度のタイム

ラグが生じ、その結果、駆動軸モータへの動力供給が遮断される時刻は、実際の衝突発生時刻から少なくともこのタイムラグを加算したものとなるので、アーム自身あるいはこれに把持されたエンドエフェクタが障害物にめり込んだ状態で停止してしまい、減速機を含む駆動系に過大な力がかかるという問題点があった。

【0005】具体的に言うと、外乱トルクの衝突成分の衝突発生時以降の時間変化を示すグラフである図2において、衝突発生時刻T1から外乱トルクの衝突成分が規定値を超える時刻すなわち衝突検出時刻T2までの時間がタイムラグにあたり、このタイムラグの間にアーム自身あるいはこれに把持されたエンドエフェクタが障害物にめり込むことになり、減速機を含む駆動系に過大な力がかかることになる。

【0006】このタイムラグを小さくする対策として最も安易な方法は規定値を引き下げるところであるが、規定値を極度に引き下げるとき、実際に衝突が発生していない場合でも衝突が発生しているとの誤った判断がされる事態が生じ、衝突検出の信頼性が低下することになり問題である。詳細には、図5は衝突が発生していない場合の外乱トルクの衝突成分の時間変化を示すグラフであるが、衝突が発生していない場合でも、外乱推定オブザーバーで使用するロボットモデルと実機との間には、ロボットの機械的な誤差や温度変化などの環境による誤差、あるいはオペレータが設定するハンドやワークの設定誤差などが存在するために、常に正確な外乱トルクが推定されるわけではなく、ある程度の誤差を含んだものとなり、その結果図5に示すように外乱トルクの衝突成分は完全なゼロとはならない。そのため、衝突発生前の外

30 亂トルクの衝突成分の時間変化は図6に示すようなグラフとなり、この場合、規定値（第1の規定値）を極度に引き下げるとき、実際の衝突発生前（衝突発生時刻T1より以前）でも外乱トルクの衝突成分が規定値を超えるような状態が起りうる。したがって、規定値を引き下げるのみでは迅速かつ確実な衝突検出は行えない。

【0007】また、タイムラグの間に減速機を含む駆動系にかかる力は衝突した瞬間のアームの動作速度が遅ければ遅いほど大きくなる。すなわち、衝突した瞬間のアームの動作速度が遅ければ遅いほど、タイムラグの間にアーム自身あるいはこれに把持されたエンドエフェクタが障害物にめり込む度合いも大きくなるので、衝突状態におけるアーム自身あるいはこれに把持されたエンドエフェクタと障害物との間に発生する反発力が大きくなり、その結果駆動系に一層過大な力がかかることになる。そのため、アームの動作速度が遅い場合は特に、衝突発生時刻T1から短い時間で衝突の発生を検出する必要がある。

【0008】本発明は上記の課題を解決するためになされたものであり、アーム自身あるいはこれに把持されたエンドエフェクタが障害物に衝突した際の、衝突が発生

してから衝突を検出するまでのタイムラグを少なくし、その結果アームあるいはエンドエフェクタ及び減速機を含む駆動系にかかる衝突時の負荷を最小限に抑えることが可能な産業用ロボットの衝突検出方法を提供することを目的とする。

## 【0009】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、本発明では、関節部を駆動する駆動軸モータが減速機を介してアームと連結される構造を有する産業用ロボットにおいて、オブザーバを用いることにより駆動軸モータが受けける推定外乱トルクを算出し、この推定外乱トルクから既知の外乱トルクを差し引くことにより外乱トルクの衝突成分を算出し、この外乱トルクの衝突成分が予め設定された第1の規定値を超えたとき、または外乱トルクの衝突成分の変化量が予め設定された第2の規定値を超えたときのいずれかの場合に衝突の発生を検出したものと判断する特徴とする産業用ロボットの衝突検出方法を提供した(請求項1)。

【0010】オブザーバを用いた従来の衝突検出では、オブザーバを用いることにより駆動軸モータが受けける推定外乱トルクを算出し、この推定外乱トルクから、重力により発生するアンバランストルクや、他の駆動軸の運動により発生する達心力・コリオリカ・慣性力等を源とする所謂軸干渉トルクといった既知の外乱トルクを差し引くことにより、外乱トルクの衝突による増加分をわざわざ外乱トルクの衝突成分を算出し、この外乱トルクの衝突成分が予め設定された規定値を超えたときに衝突の発生を検出したものと判断するようになっていた。アームの動作速度が遅い状態で衝突が発生した場合には、この従来の衝突検出方法でも十分に対応できるが、アームの動作速度が速い状態で衝突が発生した場合には、先に述べたタイムラグによる影響が無視できないものとなっていた。

【0011】そこで、本発明では、アームの動作速度が速い状態で衝突が発生した場合には、外乱トルクの衝突成分の変化量が大きくなり、さらに外乱トルクの衝突成分と比較される規定値の値によっては、外乱トルクの衝突成分の変化量のピーク時刻は外乱トルクの衝突成分が予め設定された規定値を超える時刻よりも早く見られるという特性に着目することにした。すなわち、本発明では、外乱トルクの衝突成分の変化量を算出し、この変化量が予め設定された規定値を超えた場合には衝突を検出したと判断するようになる。これにより、アームの動作速度が速い状態で衝突が発生した場合には、外乱トルクの衝突成分を規定値と比較する従来の方法よりも早く衝突の検出が行えるようになる。ただし、障害物が柔らかいもの例えば弾性体であったり、アームの動作速度が遅い状態で衝突が発生した場合には、外乱トルクの衝突成分の変化量は小さく、よって変化量が規定値を超えない事態が生ずるという不都合もある。

【0012】これに対処するために、本発明では、外乱トルクの衝突成分と比較される第1の規定値及び外乱トルクの衝突成分の変化量と比較される第2の規定値の2つを予め設定し、外乱トルクの衝突成分が予め設定された第1の規定値を超えたとき、または外乱トルクの衝突成分の変化量が予め設定された第2の規定値を超えたときのいずれかの場合に衝突の発生を検出したと判断するようになる。これにより、衝突時のアームの動作速度や障害物の弾性力の如何にかかわらず衝突の検出が可能になるとともに、特に、アームの動作速度が速い状態で衝突が発生した場合には、衝突が発生してからこれを検出するまでのタイムラグを少なくすることができ、その結果アームや駆動系の過負荷状態の時間を少なくすることができるようになる。なお、外乱トルクの衝突成分の変化量は、オブザーバにより得られた前記外乱トルクの衝突成分を時間微分することにより、容易に求めることができる。

【0013】ところで、本発明において設定される第1の規定値は以下に述べる方法にて自動的に設定するようになってもよい。すなわち、請求項2にかかる発明では、第1の規定値は、産業用ロボットを衝突の発生がない状態で動作させ、このときの外乱トルクの衝突成分の最大値を算出し、この最大値に所定のマージン値を乗じることにより自動的に設定するようにした。これにより、各駆動軸毎に異なる第1の規定値を自動的に設定することが可能となる。

## 【0014】

【発明の実施の形態】以下、本発明の一実施形態について図面を参照して説明する。図1は本発明の一実施形態における駆動軸制御装置を構成するサーボ系のブロック図である。図中、1は産業用ロボットの各アームの駆動軸を駆動するための駆動軸モータとしてのサーボモータ、2は駆動軸の位置を検出するための位置検出器としてのエンコーダー、3は増幅器としてのワワーアンプである。サーボループは内側から電流制御装置4、速度制御装置5、位置制御装置6、という3重のループで構成されている。7は目標位置・出発位置・要求速度・加速度の制限値などを基に産業用ロボットが適正に動作するために求められた時々刻々の各駆動軸の指令位置を出力する指令位置発生装置である。8は、本発明の衝突検出方法が適用される。アーム23あるいはアーム23に把持された図示しないエンドエフェクタが図示しない障害物と衝突した際これを検出する衝突検出装置である。9は衝突検出時に位置ループゲインを変更する位置ループゲイン変更装置である。9は衝突検出時に指令位置を変更する指令位置変更装置である。一方、図4はサーボモータ1、回転減速機22、及びアーム23の関係を示す、ばね質量系の概念図である。

【0015】このサーボ系の機能について説明すると、位置制御装置6は、指令位置発生装置10が発生した動

作プログラム等に従ったサーボモータ1の時々刻々の指令位置と、サーボモータ1に取り付けられたエンコーダ2から読み込まれた現在位置としての位置フィードバック1.1との差分をとて位置偏差1.4とし、この位置偏差1.4に位置ループゲインを乗じて求められた速度指令1.5を出力するようにされている。速度制御装置5は、位置制御装置6から出力された速度指令1.5と、エンコーダ2から読み込まれた現在位置を微分器Sで微分することにより求められた速度フィードバック1.2との差分をとて速度偏差1.3と、この速度偏差に基づいて電流指令1.6を出力するようにされている。電流制御装置4は、速度制御装置5から出力された電流指令1.6と、電流検出器1.7により検出されたサーボモータ1へ流れる実電流としての電流フィードバック1.3との差分をとり、これに基づいてサーボモータ1へモータ電流を出力するようにされている。

【0016】衝突検出装置7は、本発明の衝突検出方法が適用される装置であり、外乱推定オブザーバによって外乱トルクを推定し、この推定された外乱トルクに基づいて算出された外乱トルクの衝突成分が規定値以上になつたとき、衝突が生じているものと判断するようしている。衝突時には、サーボループは通常よりも大きなトルク（電流指令1.6）をサーボモータ1に対して出力しようとするとが、衝突により実際にはサーボモータ1の位置はほとんど変化しないので速度フィードバック1.2の値はほとんどゼロとなる。したがって、速度制御装置5から出力された電流指令1.6と速度フィードバック1.2の値を監視し、これらの値を基にねじれ量を算出し、このねじれ量をアーム2.3に加わる外乱トルクに換算し、この換算値から、重力により発生するアンバランストルクや、他の駆動軸の運動により発生する達心力・コリオリ力・慣性力等を源とする所謂軸干渉トルクといった既知の外乱トルクを差し引けば、外乱トルクの衝突による増加分をねじれ量として算出できる。

【0017】図3は本実施形態における衝突検出のタイミングを示すグラフであり、(a)図は外乱トルクの衝突成分の時間変化を示し、(b)図は外乱トルクの衝突成分の変化量の時間変化を示している。横軸は(a)

(b)両図とも時間であり、縦軸は(a)図については外乱トルクの衝突成分、(b)図については外乱トルクの衝突成分の変化量である。(a)図に示す外乱トルクの衝突成分は、前述のように、オブザーバを用いてにより駆動モータが受けける推定外乱トルクを算出し、この推定外乱トルクから、重力により発生するアンバランストルクや、他の駆動軸の運動により発生する達心力・コリオリ力・慣性力等を源とする所謂軸干渉トルクといった既知の外乱トルクを差し引くことにより、外乱トルクの衝突による増加分として得られる。また、(b)図に示す外乱トルクの衝突成分の変化量は、オブザーバにより得られた前記外乱トルクの衝突成分を時間微分す

ることにより得ることができる。

【0018】外乱トルクの衝突成分を示す(a)図のグラフは、前述の図2と同様である。すなわち、T1は衝突発生時刻であり、T2は衝突検出時刻としての外乱トルクの衝突成分が規定値（第1の規定値）を超えた時刻である。第1の規定値は、この値が小さいほど素早く衝突が検出されるが、極度に小さく過ぎると、実際に衝突が発生していない場合でも衝突が発生しているとの誤った判断がされる事態が生じる。したがって、衝突検出の信頼性を低下させないためにも、第1の規定値は、事前に衝突実験等を行うことにより適正な値を求めておくことが必要であるが、後述するように自動的に設定するようになることも可能である。

【0019】一方、(b)図に示す外乱トルクの衝突成分の変化量は、一般に、アームの動作速度が速いほどピーク値が大きくなつて現れる。これは、外乱トルクの衝突成分の変化量は衝突時の衝撃力の大きさを示すものであり、衝突時の衝撃力はアームの動作速度が速いほど大きいためである。そこで、予め規定値（第2の規定値）を定めておき、外乱トルクの衝突成分の変化量がこの第2の規定値を超えたときに衝突の発生を検出したものと判断するようになる。第1の規定値を適正な値に設定した場合には、外乱トルクの衝突成分の変化量のピーク値の時刻は、外乱トルクの衝突成分が第1の規定値を超えた時刻T2よりも早くなる。当然のことながら、この場合、外乱トルクの衝突成分の変化量が第2の規定値を超えた時刻T3はT2よりも早くなるので、結局のところ、外乱トルクの衝突成分の変化量を用いることにより、従来の外乱トルクの衝突成分を用いた場合よりも衝突の発生を早く検出することができるようになる。

【0020】アームの動作速度が速い状態で衝突が発生した場合には、上述の方法を用いることで従来よりも衝突の発生を早く検出することができるが、アームの動作速度が遅い状態で衝突が発生した場合や、障害物が柔らかいもの例えば弾性体である場合には、衝突時の衝撃力は小さく、よって外乱トルクの衝突成分の変化量のピーク値は小さくなるので、外乱トルクの衝突成分の変化量のみでは衝突検出が行えないという事態が生じる。

【0021】そこで、外乱トルクの衝突成分と比較される第1の規定値及び外乱トルクの衝突成分の変化量と比較される第2の規定値の2つを予め設定し、外乱トルクの衝突成分が予め設定された第1の規定値を超えたとき、または外乱トルクの衝突成分の変化量が予め設定された第2の規定値を超えたときのいずれかの場合に衝突の発生を検出したものと判断するようにした。このように外乱トルクの衝突成分と外乱トルクの衝突成分の変化量とを併用することにより、衝突時のアームの動作速度や障害物の弾性力の如何にかかわらず衝突検出が可能になるとともに、特に、アームの動作速度が速い状態で衝突が発生した場合には、衝突が発生してからこれを検出

するまでのタイムラグを少なくすことができ、その結果アームが停止するまでの時間を少なくすことができる。

【0022】指令位置変更装置9は、衝突検出装置7において衝突の発生が検出された場合は、エンコーダ2よりサーボモータ1の現在位置を入力し、この現在位置を衝突時の指令位置として指令位置発生装置10へ出力する。指令位置発生装置10は、前述のように、通常は動作プログラム等に従いサーボモータ1の時刻割々の指令位置を発生しているが、衝突検出時には指令位置変更装置9から入力したサーボモータ1の現在位置を指令位置として位置制御装置6へ出力する。これにより、衝突時は指令位置と現在位置との差分である位置偏差1.4はゼロとなるので、これに位置ループゲインを乗じて求められる速度指令1.5もゼロとなり、この結果サーボモータ1に制動トルクが発生することにより直ちにアーム2.3の動作が停止される。したがって、アーム2.3あるいは図示しないエンドエフェクタの障害物へのくい込みが最小限に抑えられることとなる。

【0023】位置ループゲイン変更装置8は、衝突検出装置7において衝突の発生が検出された場合は、位置制御装置6に対して位置ループゲインの衝突時設定値を出力し、位置制御装置6はこの衝突時設定値の入力を受け、位置制御装置6内に記憶されている位置ループゲインの初期設定値を衝突時設定値に変更する。位置ループゲインは位置偏差1.4より速度指令1.5を算出する際に用いられる比例定数であり、この値が大きいほど駆動軸の剛性は高くなり、よって指令位置に対する駆動軸の追従性は良くなるが、逆にサーボモータ1や減速機2.2にかかる負荷は大きくなる。アーム2.3の動作中の駆動軸の追従性を良くするために位置ループゲインを大きくすることが望ましいが、衝突時にサーボモータ1が拘束状態となつたときは、位置ループゲインが大きいことによる減速機2.2にかかる負荷の増加により、減速機2.2の寿命を縮めたり、最悪の場合は減速機2.2を含む駆動系を破損させることになる。

【0024】そこで、衝突時には位置ループゲインをアーム動作中の初期設定値からこの初期設定値よりも小さい衝突時設定値に変更することにより、速度指令を低下させ、よって駆動軸の剛性を低下させ、この結果障害物に衝突したアーム2.3が復元力により衝突位置まで自然に引き戻されることによりくい込み状態が解消され、よって減速機2.2にかかる負荷が低減されるようになる。

【0025】位置ループゲインの衝突時設定値は、障害物に衝突したアーム2.3が復元力により衝突位置まで自然に引き戻される程度に小さくしておく必要があるが、極端に小さくしがると、アーム自身の重みにより重力に対抗しきれなくなり、最悪の場合アーム2.3が落してしまうという事態が発生する。そのため、位置ループゲインの衝突時設定値については、重力の影響分は最低

限補値しておく必要がある。この点を考慮したうえで、位置ループゲインの衝突時設定値は予め所定の値を規定しておいてもよいが、所定の比率を予め規定しておき、衝突時には位置ループゲインの初期設定値にこの予め規定しておいた比率を乗することにより、位置ループゲインを変更するようにしてよい。

【0026】具体的には、エンドエフェクタに所定の負荷を持たせ、実際に衝突状態を発生させることにより、アーム2.3が復元力により衝突位置まで自然に引き戻され、かつ、重力の影響によりアーム2.3が落下してしまうことがないような衝突時設定値を実験的に求めるようになる。あるいは、同様な実験を繰り返すことにより複数のデータが得られれば、衝突時設定値の初期設定値に対する比率を求めることが可能になるので、衝突時には位置ループゲインの初期設定値にこの比率を乗することにより、位置ループゲインを変更するようにする。

【0027】ところで、先に述べたように、第1の規定値は、この値が小さいほど素早く衝突の発生が検出されるが、極度に小さくしがると、実際に衝突が発生していない場合でも衝突が発生しているとの誤った判断がされる事態が生じるので、衝突検出の信頼性を低下させないためにも、事前に衝突実験を行うことにより、適正な第1の規定値の値を求めておくことが必要であるが、ここで、第1の規定値の値を自動的に設定する方法の一例を図7に示すフローチャートに基づいて説明する。

【0028】産業用ロボットを実際の動作プログラムに従い動作させ、その間、ロボット制御装置において図7に示すフローチャートで規定される処理を行なう。まず、外乱トルクの衝突成分の最大値 $T_{ax}$ を初期化する(ステップ3.1)。次に、最小次元オブザーバに基づいて外乱トルクの衝突成分 $T$ を算出し(ステップ3.2)、外乱トルクの衝突成分 $T$ がこの時点での最大値 $T_{ax}$ よりも大きければ(ステップ3.3Y)この外乱トルクの衝突成分 $T$ を新たな最大値 $T_{ax}$ と置き換えた後(ステップ3.4)ステップ3.3に進み、一方、外乱トルクの衝突成分 $T$ がこの時点での最大値 $T_{ax}$ よりも小さければ(ステップ3.3N)そのままステップ3.5に進む。そして、ステップ3.5では、動作プログラムが終了していないければステップ3.2)の処理を再度実行し、一方、動作プログラムが終了していればステップ3.6に進む。

【0029】最後に、ステップ3.6において、この時点での最大値 $T_{ax}$ をこの動作プログラムにおける最大値と判断する。すなわち、図8は衝突が発生していない場合の外乱トルクの衝突成分の時間変化と最大値 $T_{ax}$ との関係を示すグラフであるが、図7のフローチャートに示す処理を行なうことにより、最大のピーク値が最大値 $T_{ax}$ として求められる。そして、最大値 $T_{ax}$ に所定のマージン値を乗することにより得られた値を第1の規定値として記憶する。ここで、マージン値は1以上の数値であり、安全率を考慮した上で設定する。すなわ

ち、衝突が発生しない状態のときは常に、外乱トルクの衝突成分が最大値に所定のマージン値を乗ることにより得られた値である第1の規定値以下であるようにマージン値を設定する。図9は衝突が発生している場合の外乱トルクの衝突成分の時間変化と最大値 $T_{max}$ に所定のマージン値を乗ることにより得られた第1の規定値との関係を示すグラフである。適正なマージン値を設定することにより、衝突検出の信頼性を確保しつつ、衝突発生時刻T1と衝突検出時刻T2との間隔をなむちタイムラグを小さくすることができます。

【0030】以上、本発明の一実施形態について説明した。上記の実施形態は産業用ロボットの駆動軸に本発明を適用した場合について説明したものであるが、関節部を駆動する駆動軸モータが減速機を介してアームあるいはこれに相当する部材を動作させる形態のものであれば、産業用ロボット以外のものにも本発明の技術は容易に展開可能であり、例えば、駆動軸にサーボモータ及び減速機を使用している工作機械にも適用できる。

### 【0031】

【発明の効果】本発明によれば、関節部を駆動する駆動軸モータが減速機を介してアームと連結される構造を有する産業用ロボットにおいて、オブザーバを用いることにより駆動軸モータが受ける推定外乱トルクを算出し、この推定外乱トルクから既知の外乱トルクを差し引くことにより外乱トルクの衝突成分を算出し、この外乱トルクの衝突成分が予め設定された第1の規定値を超えたとき、または外乱トルクの衝突成分の変化量が予め設定された第2の規定値を超えたときのいずれかの場合に衝突の発生を検出したものと判断するようにしたので、衝突時のアームの動作速度や障害物の弾性力の如何にかかわらず衝突検出が可能になるとともに、特に、アームの動作速度が速い状態で衝突が発生した場合には、衝突が発生してからこれを検出するまでのタイムラグを少なくすることができ、その結果アームや駆動系の過負荷状態の時間を少なくすることができるようになった。

【0032】特に、請求項2にかかる発明では、第1の規定値は、産業用ロボットを衝突の発生がない状態で動作させ、このときの外乱トルクの衝突成分の最大値を算出し、この最大値に所定のマージン値を乗ることにより自動的に設定するようにしたので、各駆動軸毎に異なる第1の規定値が自動的に設定されることとなり、衝突検出の信頼性が向上することとなった。

【0033】以上により、速い動作速度でアームあるいはエンドエフェクタが障害物に衝突した場合でも、素早く衝突の発生を検出できることとなったので、アームあるいはエンドエフェクタ及び減速機を含む駆動系にかかる衝突時の負荷を最小限に抑えることができるものと

なった。

### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明における産業用ロボットの衝突検出方法が適用される、産業用ロボットのサーボ系のブロック図である。

【図2】外乱トルクの衝突成分の時間変化を示すグラフである。

【図3】本発明の実施形態における衝突検出のタイミングを示すグラフであり、(a)図は外乱トルクの衝突成分の時間変化を示し、(b)図は外乱トルクの衝突成分の変化量の時間変化を示している。

【図4】サーボモータ1、回転減速機2及びアーム2の関係を示す、ばね-質量系の概念図である。

【図5】衝突が発生していない場合の外乱トルクの衝突成分の時間変化を示すグラフである。

【図6】衝突発生前後の外乱トルクの衝突成分の時間変化を示すグラフである。

【図7】本発明における第1の規定値の値を自動的に設定する方法の一例を示すフローチャートである。

20 【図8】本発明における衝突が発生していない場合の外乱トルクの衝突成分の時間変化と最大値 $T_{max}$ との関係を示すグラフである。

【図9】本発明における衝突が発生している場合の外乱トルクの衝突成分の時間変化と最大値 $T_{max}$ に所定のマージン値を乗ることにより得られた第1の規定値との関係を示すグラフである。

### 【符号の説明】

1 駆動軸モータ(サーボモータ)

2 位置検出器(エンコーダ)

3 パワーアンプ

4 電流制御装置

5 速度制御装置

6 位置制御装置

7 衝突検出装置

8 位置ループゲイン変更装置

9 指令位置変更装置

10 指令位置発生装置

11 位置フィードバック

12 速度フィードバック

40 13 電流フィードバック

14 位置偏差

15 速度指令

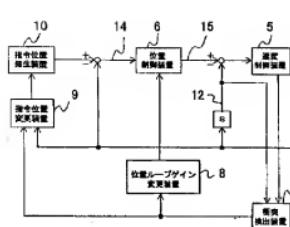
16 電流指令

17 電流検出器

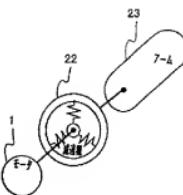
22 減速機

23 アーム

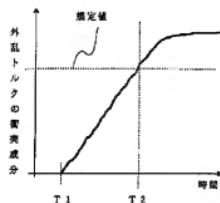
【図1】



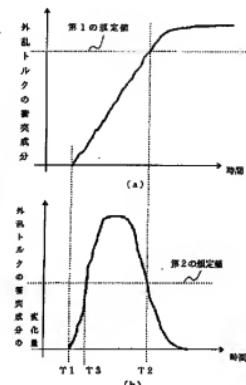
【図4】



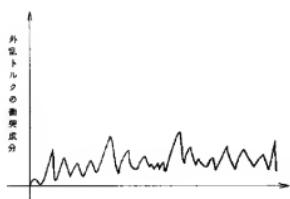
【図2】



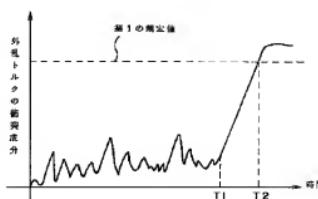
【図3】



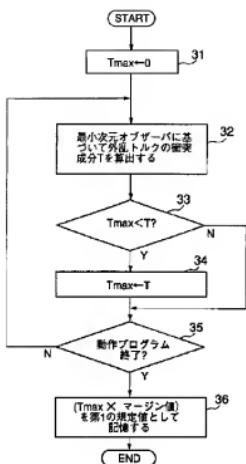
【図5】



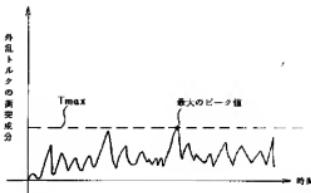
【図6】



〔127〕



[図8]



【図9】

